

**Использование принципов электронных систем вторичного электропитания для широкодиапазонного бесконтактного управления коммунальными электрическими объектами / Ю. П. Гончаров, В. В. Ивахно., Ю.С. Войтович, А. В. Лобко, Е. И. Опанасенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 18 (991). – С. 21–28. – Бібліогр.: 5 назв.**

У даній роботі розглядається застосування принципів, використовуваних в електронних системах вторинного електроживлення з проміжною ланкою постійного і високочастотного змінного струму, для побудови розподільних електромереж об'єктів комунально-побутового призначення.

**Ключові слова:** широкодіапазонне регулювання, безконтактний захист, розподільча електромережа.

This paper discusses the application of the guidelines used in electronic systems with a secondary power supply DC bus and high-frequency alternating current, to build electricity distribution facilities household purpose.

**Keywords:** wide-range control, contactless security, distribution grid.

## УДК 621.314:621.382:621.314.572

*Д. А. ПАДАЛКО*, студент, ТУСУР, Томск, Россия;

*А. Г. ГАРГАНЕЕВ*, д-р. техн. наук, проф., зав. каф. ЭСАУ, ТУСУР, Томск, Россия

### СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Рассмотрены принципы генерирования электроэнергии в автономных системах электроснабжения на основе электрических машин с самовозбуждением. Показана общность процессов самовозбуждения в электрических машинах постоянного тока, асинхронных и синхронно-гистерезисных. Представлены результаты моделирования процессов самовозбуждения. Показана возможность построения регулируемых систем генерирования с полупроводниковыми преобразователями.

**Ключевые слова:** электрическая машина, генератор, полупроводниковый преобразователь, инвертор, выпрямитель.

#### Актуальность

Увеличение численности населения, повышение требований к сохранению окружающей среды, специфика некоторых производств предполагают поиск новых источников энергии. В подавляющем большинстве случаев генерация электроэнергии осуществляется с помощью электрических машин постоянного и переменного тока. Наиболее распространенными промышленными системами генерирования электроэнергии (СГЭЭ) являются системы на основе синхронных генераторов (СГ), диапазон мощностей которых достаточно широк.

Специфика автономных СГЭЭ, в частности, для летательных аппаратов (ЛА), заключается в условиях применения, характеризующихся:

- широким диапазоном температур;

- разреженностью атмосферы;
- большими механическими перегрузками;
- соизмеримостью мощности генератора и потребителя;
- переменной частотой вращения авиадвигателя;
- работой при электрических перегрузках;
- безопасностью электрической машины при возникновении короткого замыкания нагрузки [1].

В настоящее время СГЭЭ на основе генераторов постоянного тока (ГПТ) уступают свое место системам на основе машин переменного тока, прежде всего, ввиду наличия ненадежного искрящего конструктивного элемента – щеточно-коллекторного узла, особенно плохо работающего в условиях разреженности атмосферы. СГЭЭ на основе СГ с постоянными магнитами на сегодняшний день являются наиболее востребованными и энергетически выгодными системами бортового электрооборудования. Исследованиям СГЭЭ на основе СГ с постоянными магнитами (СГПМ) при использовании в качестве преобразовательно-регулирующих устройств полупроводниковых преобразователей (автономных инверторов и выпрямителей) посвящен целый ряд работ [2 – 4]. Однако при всей своей привлекательности СГЭЭ на основе СГПМ имеют и ряд недостатков, основными из которых являются:

- низкая механическая прочность постоянных магнитов;
- старение постоянных магнитов;
- возможность размагничивания при высоких температурах;
- высокая стоимость постоянных магнитов;
- сложность организации защит от короткого замыкания, прежде всего, ввиду большого запаса электромагнитной энергии во вращающемся роторе. В аварийных ситуациях ЛА «неисчезаемый» запас электромагнитной энергии ротора потенциально опасен.

Альтернативой СГЭЭ с СГПМ является применение систем генерации на основе электрических машин с самовозбуждением – асинхронных и синхронно-гистерезисных генераторов (АГ и СГГ). Если системы генерации с АГ известны [5], то системы с СГГ ранее никем не рассматривались, поэтому авторами данной статьи фактически предлагается новое техническое решение.

### **Цель работы**

Целью данной работы является комплексное исследование автономных систем генерирования электроэнергии с самовозбуждающимися электрическими машинами постоянного и переменного тока.

### **Электрическая машина с самовозбуждением с позиций теории автоматического управления**

С точки зрения теории автоматического управления режим самогенерации в электрических машинах различной конструкции аналогичен.

На рис. 1 приведены структурные схемы ГПТ и АГ с самовозбуждением.

Согласно схеме ГПТ наличие остаточного магнитного потока  $\Phi_{ост}$  приводит при вращении якоря к возникновению ЭДС  $E_r$  на выходе генератора, по принципу

генерирования электроэнергии в двигателях постоянного тока – выражение 1, в случае машин переменного тока генерация обуславливается выражением 2.

(1)

(2)

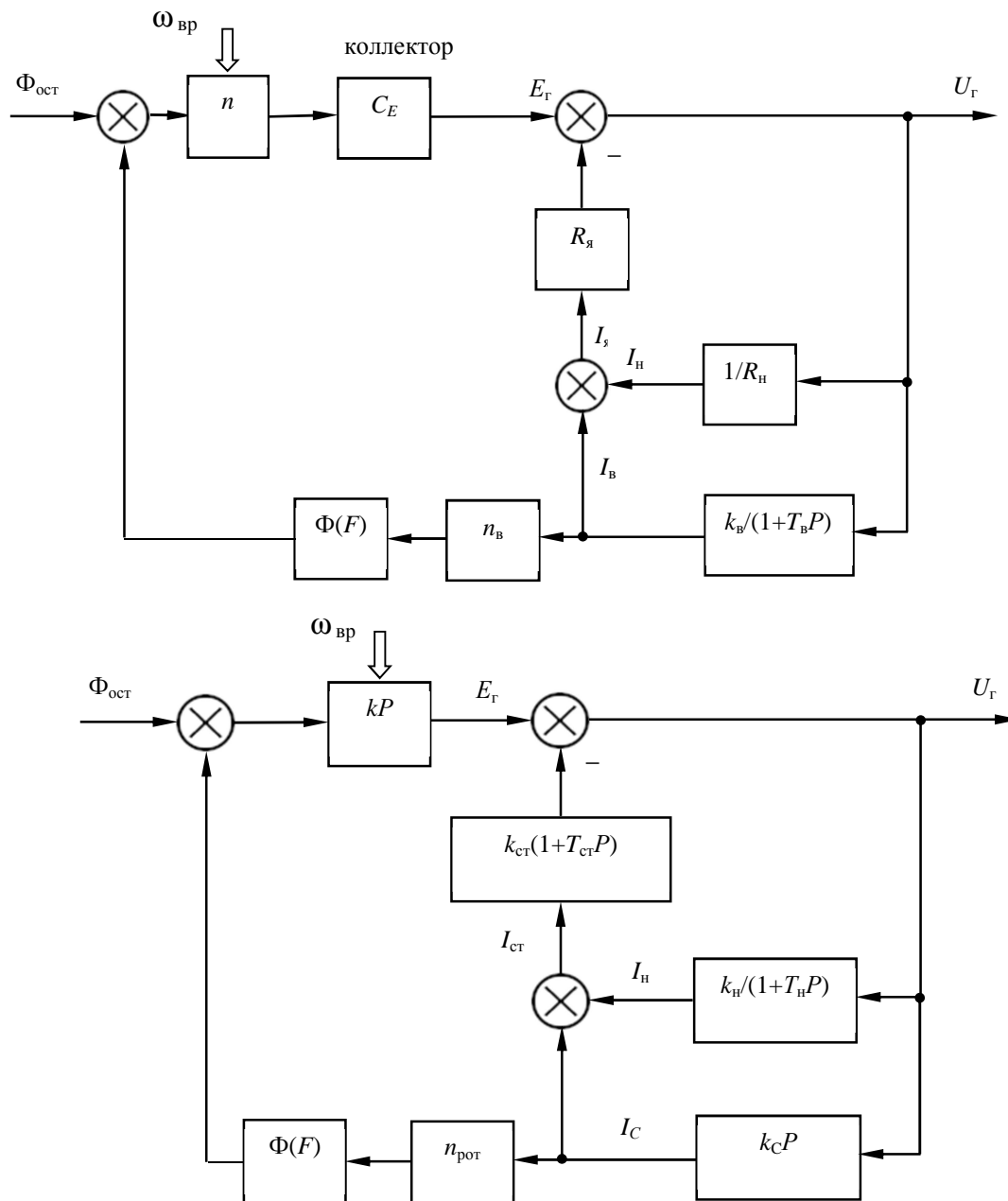


Рис. 1 – Структурные схемы ГПТ (вверху) и АГ, СГГ (снизу).

В обмотке возбуждения с числом витков  $n_B$ , представленной апериодическим звеном  $k_B/(1+T_BP)$ , возникает ток возбуждения, который создает МДС  $F$  и соответствующий магнитный поток. Таким образом, образуется контур положительной обратной связи по магнитному потоку, способствующий процессу самовозбуждения. Амплитуда потока и ЭДС ограничивается за счет нелинейности характеристики намагничивания  $\Phi(F)$ . Как и в схемах с самовозбуждением

представленный процесс характеризуется балансом фаз и амплитуд. Что касается баланса амплитуд, то он выполняется при петлевом коэффициенте усиления, равном единице и может быть получен из выражений общей передаточной функции системы. Баланс фаз в ГПТ фактически отсутствует, так как коллектор, выполняющий функцию «модулятора-демодулятора», превращает переменный в якоре магнитный поток в постоянный.

В схеме АГ происходит фактически тот же процесс, что и в схеме ГПТ. Однако для выполнения баланса амплитуд в статорной цепи переменного тока необходимо получить емкостную составляющую тока  $I_C$  после блока дифференцирования, которая в цепи ротора «поддержит» развитие магнитного потока. Известно, что в АГ емкостную составляющую получают за счет батареи конденсаторов. Представленные схемы позволяют получить известные в теории электрических машин условия самовозбуждения, однако, с позиций теории автоматического управления.

Желание устранить в схеме ГПТ коллектор приводит к необходимости перейти к обращенной конструкции электрической машины, применив в неподвижной относительно наблюдателя цепи якоря полупроводниковый коммутатор (инвертор), как и в бесконтактном двигателе постоянного тока. Однако, процесс самовозбуждения в этом случае может развиваться лишь в случае магнитной «податливости» материала ротора, а единственным типом электрических машин с таким материалом является гистерезисная машина с ротором, например, из викаллой [6]. В этом случае процесс самовозбуждения аналогичен процессу в АГ при фиктивном числе витков ротора  $n_{рот}$ .

### **Мехатронные системы с самозбуждением электрических машин**

Необходимость регулировки выходного напряжения АГ и СГГ при изменении нагрузки как по величине, так и по характеру приводит к идее применения в СГЭЭ в качестве поставщика и регулировщика емкостного тока полупроводникового преобразователя (ПП), способного работать в режиме инвертора или активного выпрямителя.

На рис. 2 представлена схема мехатронной СГЭЭ переменного тока. Согласно представленной схеме, ПП образует необходимый уровень емкостного тока, поддерживающий процесс самовозбуждения в диапазоне регулирования.

Для СГГ в ПП дополнительно предусмотрено наличие устройства импульсного подмагничивания ротора, как это используется у синхронно-гистерезисных двигателей [7]. При возникновении аварийных ситуаций, приводящих к перегрузке СГЭЭ процесс самогенерации автоматически прекращается («срыв генерации»), не приводя к катастрофическим последствиям.

### **Моделирование электрических машин с самовозбуждением**

Для подтверждения полученных результатов было проведено моделирование в пакете прикладных программ Matlab Simulink. На рис. 3 приведена модель ГПТ, а на рис. 4 модель АГ.

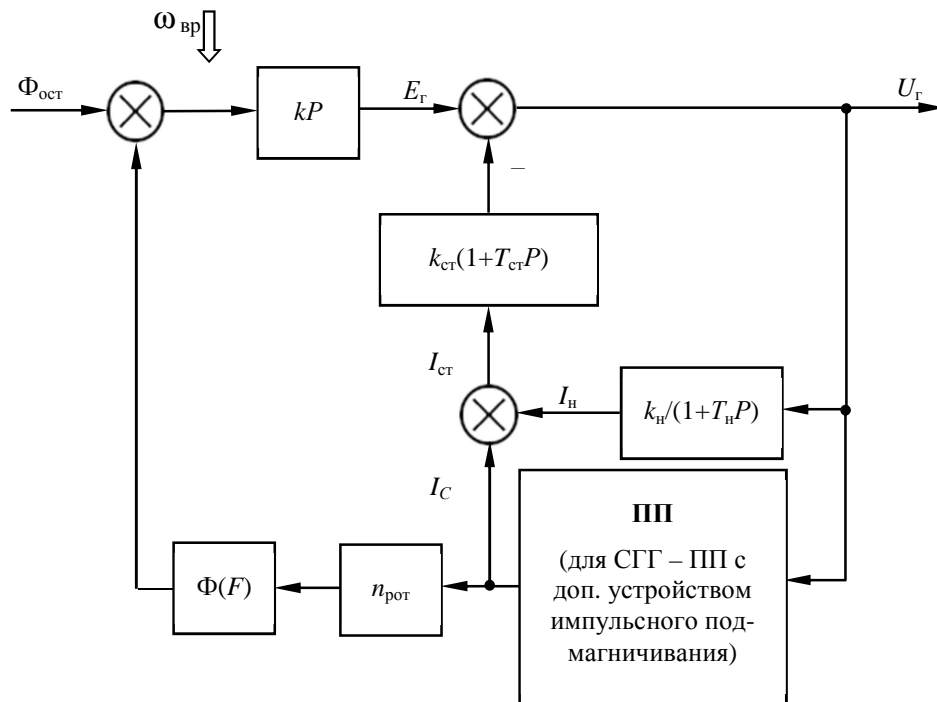


Рис. 2 – Мехатронная СГЭЭ переменного тока с полупроводниковым преобразователем

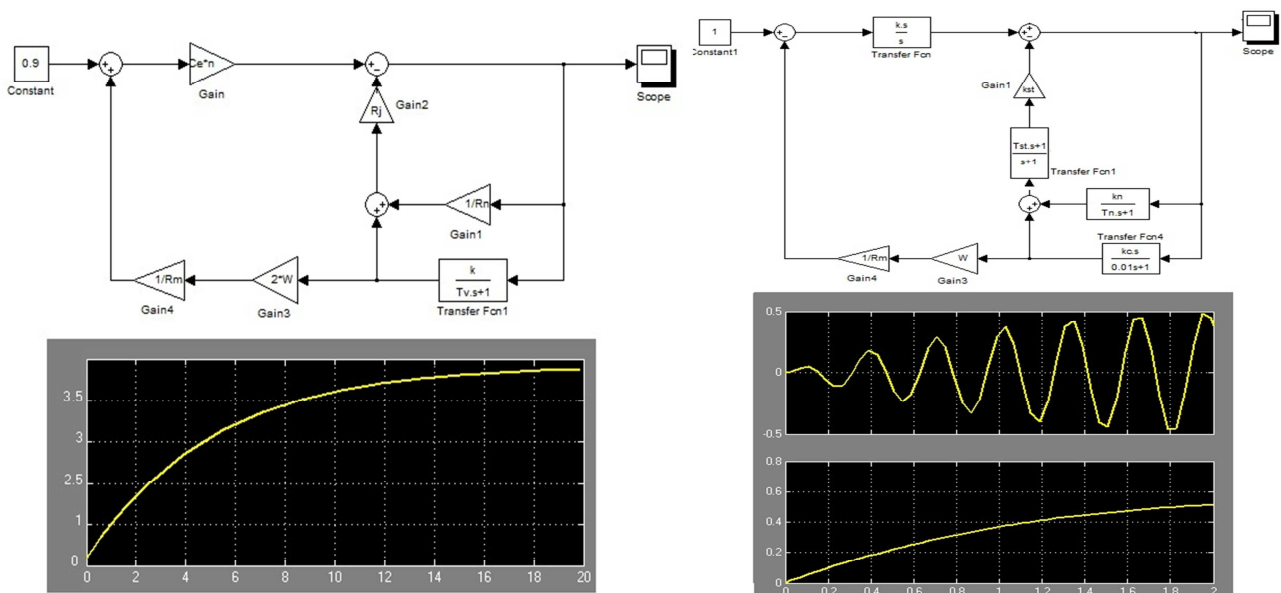


Рис. 3. Модель ГПТ и процесс самовозбуждения

Рис. 4. Модель АГ и процесс самовозбуждения

Для наглядности полученных результатов график процесса самовозбуждения АГ представлен во вращающейся и неподвижной системах координат.

Процесс самовозбуждения СГГ аналогичен при замене вращающегося магнитного поля гистерезисного слоя ротора эквивалентными токами.

## Выводы

Природа самовозбуждения электрических машин различной конструкции при представлении электрической машины системой автоматического управления с положительной обратной связью едина. Изменение скорости приводного первичного двигателя, а также нагрузки по величине и характеру приводят к необходимости применения в автономных СГЭЭ полупроводниковых преобразователей, превращая СГЭЭ в мехатронную систему. Мехатронные СГЭЭ на основе АГ и СГГ могут составить альтернативу дорогостоящим системам с СГПМ. Представляется интересным и перспективным исследование и создание СГЭЭ с СГГ, поскольку гистерезисные машины занимают по энергетическим показателям промежуточное место между асинхронными машинами и синхронными с постоянными магнитами [8], обладая свойствами самовозбуждения.

**Список літератури:** 1. Грузков С.А. Электрооборудование летательных аппаратов: учебник для вузов. Том 1. Системы электроснабжения летательных аппаратов / Под ред. С.А. Грузкова. – М. : Издательство МЭИ, 2005. – 568 с. 2. Гарганеев А.Г., Харитонов С.А. Перспективные системы электроснабжения самолета с полностью электрифицированным оборудованием // Доклады ТУСУР. – 2009. – № 2(20). – С.185 – 192. 3. Гарганеев А.Г., Харитонов С.А. Коэффициент полезного действия мехатронной системы генерирования электрической энергии постоянного тока // Известия ТПУ. – Т.319.– №4. – С. 139–43. 4. Харитонов С.А. Электромагнитные процессы в системах генерирования электрической энергии автономных объектов: монография / С.А. Харитонов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 536 с. 5. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с. 6. Делекторский Б.А., Управляемый гистерезисный привод / Б.А. Делекторский, В.Н. Тарасов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 128 с. 7. Гарганеев А.Г. Мехатронные системы с синхронно-гистерезисными двигателями / А.Г. Гарганеев, С.В. Брованов, С.А.Харитонов.– Томск. Изд-во ТПУ, 2012. – 227 с. 8. Ларионов А.Н. Гистерезисные электродвигатели. Техническая информация / А.Н. Ларионов, Н.З. Мастяев, И.Н. Орлов.– М. : МЭИ, 1958. – 160 с.

*Надійшла до редколегії 28.02.2013*

УДК 621.314:621.382:621.314.572

**Системы электроснабжения на основе электрических машин с самовозбуждением / Д. А. Падалко, А. Г. Гарганеев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 18 (991). – С. 28–33. – Бібліогр.: 8 назв.**

Розглянуто принципи генерування електроенергії в автономних системах електропостачання на основі електричних машин з самозбудженням. Показана спільність процесів самозбудження в електричних машинах постійного струму, асинхронних і синхронно-гістерезисних. Представлено результати моделювання процесів самозбудження. Показана можливість побудови регульованих систем генерування з напівпровідниковими перетворювачами.

**Ключові слова:** електрична машина, генератор, напівпровідниковий перетворювач, інвертор, випрямляч.

The principles of generating electricity in the autonomous power supply systems based on electric cars with self-excitation. Show the generality of self-excitation processes in electrical machines DC, asynchronous and synchronous-hysteresis. The results of the simulation of self-excitation. The possibility of building control systems to generate semiconductor converters.

**Keywords:** electric car, generator, solid converter, inverter, rectifier.